

# The diurnal cycle of Alpine summer convection in a convection-resolving model: evaluation with satellite data and sensitivity to atmospheric forcing

**Doctoral Thesis****Author(s):**

Keller, Michael

**Publication date:**

2016

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010658332>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 23135

**The diurnal cycle of Alpine summer convection  
in a convection-resolving model: evaluation with  
satellite data and sensitivity to atmospheric forcing**

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

**Michael Keller**

MSc Mathematics, University of Zurich  
born April 4, 1984  
citizen of Oensingen SO, Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Christoph Schär, examiner  
Prof. Dr. Juerg Schmidli, co-examiner  
Dr. Oliver Fuhrer, co-examiner  
Dr. Reto Stöckli, co-examiner  
Dr. Axel Seifert, co-examiner

2016

# Abstract

Moist convection over Central Europe and the Alps is characterized by a pronounced diurnal cycle. Convective plumes are triggered between the late morning and sunset. These can be followed by the generation of major convective cells and thunderstorms that typically peak in the late afternoon or early evening. Convection is poorly represented in current convection-parameterizing models (CPMs), often leading to large biases in the diurnal cycle of precipitation, in particular a too early onset and peak of precipitation. These biases raise questions regarding the robustness of important aspects of European climate change scenarios for the summer season. Preliminary experience with convection-resolving models (CRMs) has shown promising results. In this thesis, the diurnal cycle of convection is investigated during 11 days in June 2007 with a pronounced diurnal cycle. For this purpose, the numerical model COSMO is used with horizontal resolutions of 12 km (CPM) and 2 km (CRM). The specific model setup used is explained in chapter 2.

In chapter 3, the simulations are evaluated with three satellite and two ground-based observational products. Additionally to the standard one-moment microphysics scheme (1M), a two-moment microphysics scheme (2M) is used with the CRM. For the CPM, an overestimation of high cloud cover is found, which is reduced with the CRM with 1M, and further reduced with 2M. The main reason for the latter improvement can be attributed to the neglect of cloud-ice sedimentation in the 1M. Further, a negative mid-level cloud bias is found for all simulations. The overestimation of high cloud cover in the CPM leads to a compensation effect in the top of the atmosphere energy budget, with an underestimation of outgoing longwave radiation (OLR) and an overestimation of reflected solar radiation (RSR). For the CRM with 1M, no compensation effect is found due to an underestimation of both the OLR and RSR. This leads to an increased absolute bias in the top of the atmosphere energy budget compared to the CPM, despite the improvements found in high cloud cover. Although differences in high cloud cover are also found between the CRMs, the diurnal cycles of precipitation for 1M and 2M are virtually the same.

In chapter 4, the study of chapter 3 is expanded to surrogate climate change experiments of the same period. The goal is to assess the sensitivity of the diurnal cycle of moist convection with respect to characteristic changes expected in a future climate. In the surrogate experiments, an increase of temperature and absolute humidity is applied at the lateral boundaries, compared to the control simulations, while relative humidity and the large-scale circulation are maintained. This mimics a possible future climate with the same synoptic forcing. Following a previous study, two types of warming are applied: a homogenous warming (HW) and a vertically-dependent warming (VW). For the investigated period, an increase of heavy precipitation events is found for HW and VW compared to control. This intensification in heavy precipitation is consistent with the Clausius-Clapeyron relation for the CRM simulations with 1M and 2M, but is beyond this relation for the CPM simulations. For clouds, similar amounts are found for control and HW, but a distinct reduction in high cloud cover is found for VW. In terms of the diurnal cycle of convection, low precipitation intensities, and the top of the at-

mosphere energy budget, the differences between CPM and CRM are significantly larger than those between control, HW and VW.

In summary, the validation pinpoints significant improvements for the convection-resolving approach compared to the CPMs. The results of this thesis demonstrate the importance to complement CPM simulations with CRM simulations for an improved representation of convective processes. Also, the importance of further investigating the remaining cloud biases is highlighted.

# Zusammenfassung

Feuchte Konvektion über Zentraleuropa und den Alpen zeichnet sich durch einen ausgeprägten Tagesgang aus. Kleinere Auftriebsströmungen werden zwischen dem späten Morgen und dem Sonnenuntergang ausgelöst. Die Entwicklung von grossen konvektiven Zellen und Gewittern, die typischerweise am späten Nachmittag oder frühen Abend ihre grösste Ausdehnung erreichen, kann diesen kleineren Auftriebsströmungen folgen. Konvektion ist in den konvektionsparametrisierenden Modellen (CPM) schlecht dargestellt, was oft zu einem zu frühen Einsetzen und Höchstwert im Niederschlagstagesgang führt. Diese Abweichungen von den Beobachtungen werfen Fragen bezüglich der Robustheit wichtiger Aspekte der europäischen Klimaszenarien für die Sommersaison auf. Erste Erfahrungen mit konvektionsauflösenden Modellen (CRM) erzielten vielversprechende Ergebnisse. In dieser Arbeit wird der Tagesgang der Konvektion an 11 Tagen mit besonders ausgeprägtem Tagesgang im Juni 2007 untersucht. Zu diesem Zweck wird das numerische Modell COSMO mit 12 km (CPM) und 2 km (CRM) Auflösung benutzt. Die spezifischen Einstellungen die für das Modell gewählt wurden, werden in Kapitel 2 erklärt.

Im dritten Kapitel werden die Simulationen mit Hilfe von drei Satelliten- und zwei bodengestützten Beobachtungsprodukten ausgewertet. Zusätzlich zum Standard Ein-Momenten-Mikrophysik-Schema (1M) wird ein Zwei-Momenten-Mikrophysik-Schema (2M) für das CRM benutzt. Das CPM zeigt eine Überschätzung der hohen Wolken, welche für das CRM mit dem 1M reduziert wird. Eine weitere Reduktion der hohen Wolken zeigt das CRM mit dem 2M. Der Hauptgrund für diese zweite Reduktion ist auf die Vernachlässigung der Wolkeneiss sedimentation im 1M zurück zu führen. Des Weiteren unterschätzen alle Simulationen die Häufigkeit von mittelhohen Wolken. Die Überschätzung von hohen Wolken im CPM führt zu einem Kompensationseffekt im Energiebudget am oberen Rand der Atmosphäre durch eine Unterschätzung von ausgehender langwelliger Strahlung (OLR) und einer Überschätzung von reflektierter kurzwelliger Strahlung (RSR). Für das CRM mit dem 1M wird kein Kompensationseffekt gefunden, da beide, OLR und RSR, unterschätzt werden. Dies führt trotz den Verbesserungen in der hohen Bewölkung zu einer grösseren Abweichung von den Beobachtungen im Energiebudget am oberen Rand der Atmosphäre als beim CPM. Obwohl auch zwischen den beiden CRMs Unterschiede in der hohen Bewölkung gefunden werden, ist der Niederschlagstagesgang für das 1M und das 2M praktisch gleich.

Im vierten Kapitel wird die Studie von Kapitel 3 mit Stellvertreter-Klimawandel-Experimenten während der selben Periode erweitert. Das Ziel ist es die Veränderungen des Tagesganges der feuchten Konvektion unter charakteristische Änderungen eines erwarteten Klimawandels abzuschätzen. In den Stellvertreter-Experimenten werden die Temperatur und die absolute Feuchte in den seitlichen Randbedingungen erhöht, während relative Feuchte und die grossskaligen Zirkulationen der Kontroll-Simulationen erhalten bleiben. Dies imitiert ein mögliches zukünftiges Klima mit dem gleichen synoptischen Antrieb. Entsprechend einer vorangegangenen Studie werden zwei Erwärmungstypen angewandt: homogene Erwärmung (HW) und höhenabhängige Erwärmung (VW). Für die untersuchte Periode wird für HW und VW im Vergleich mit den Kontroll-Simulationen eine Zunahme der Starkniederschlagser-

eignisse gefunden. Die Intensivierung der Starkniederschläge ist für die CRM-Simulationen mit dem 1M und dem 2M konsistent mit der Clausius-Clapeyron-Beziehung, aber stärker als diese Beziehung für die CPM-Simulationen. Ähnliche Wolkenbedeckungen werden bei den Kontroll-Simulationen und HW gefunden. VW hingegen zeigt eine Reduktion in der hohen Bewölkung. Im Tagesgang der Konvektion, tiefen Niederschlagsintensitäten und im Energiebudget am oberen Rand der Atmosphäre ist der Unterschied zwischen CPM und CRM signifikant grösser als zwischen den Kontroll-Simulationen, HW und VW.

Die Validierung zeigt signifikante Verbesserungen für den konvektionsauflösenden Ansatz gegenüber den CPMs auf. Des Weiteren demonstrieren die Resultate dieser Arbeit die Wichtigkeit CPM-Simulationen mit CRM-Simulationen zu ergänzen, um die Darstellung der konvektiven Prozesse zu verbessern. Ausserdem wird auf die Wichtigkeit weiterer Untersuchungen bzgl. der verbleibenden Abweichungen zwischen simulierten und beobachteten Wolkenbedeckungen hingewiesen.